

Miniaturisation de filtres hyperfréquences par l'utilisation de substrats à forte permittivité

Michel Le Coq^{1,2}, Eric Rius^{1,2}, Jean-François Favennec^{1,2}, Benjamin Potelon^{1,2}, Cédric Quendo^{1,2}
Laetitia Estagerie³, Pascal Moroni⁴

¹Université Européenne de Bretagne, France

²Université de Brest ; CNRS, UMR 3192 Lab-STICC, ISSTB, 6 avenue Le Gorgeu, CS 93837, 29238 Brest Cedex 3

³CNES, 18 avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse Cedex 9

⁴Thales Alenia Space, 26 avenue J.F. Champollion - BP 1187 - 31037 Toulouse Cedex 1

Michel.Lecoq@univ-brest.fr : correspondant principal

Résumé

La miniaturisation des dispositifs électroniques est un enjeu majeur dans le cadre des télécommunications hyperfréquences. Dans ce papier, nous nous intéressons à l'utilisation d'un substrat céramique de forte permittivité ($\epsilon_r = 90$) lors de la conception de filtres RF en bande C. Ce substrat présente de faibles pertes diélectriques ($\tan\delta < 10^{-3}$) et il est compensé en température. Afin de démontrer l'intérêt d'un tel matériau, deux technologies sont étudiées : un filtre planaire microruban et un filtre volumique SIW. Ces dispositifs proposent alors des empreintes 7 à 9 fois inférieures par rapport à ceux conçus sur une alumine classique ($\epsilon_r = 9,9$).

1. Introduction

Les matériaux céramiques jouent un rôle très important dans les applications spatiales. Dans un système de communications hyperfréquences, ils offrent de bonnes performances électriques et sont très stables en termes de durée de vie et de variations de température. Cependant, les dimensions des dispositifs passifs réalisés sur des substrats en céramique restent relativement élevées en bande C.

Une solution pour réduire leur taille est d'utiliser des substrats à forte permittivité [1]. En effet, les filtres RF sont dimensionnés par la longueur d'onde du signal, qui dépend entre autres de la permittivité du substrat.

Cependant, la réalisation de filtres miniatures est confrontée à des contraintes technologiques plus restrictives (ligne microruban plus étroite et perçages plus fins).

2. Conception d'un filtre DBR en technologie microruban

2.a. Considérations technologiques

Dans un premier temps, il convient de déterminer la gamme d'impédances caractéristiques utilisable lors de la synthèse du filtre. En effet, ces impédances sont limitées par les largeurs des lignes microrubans

techniquement réalisables sur un substrat à forte permittivité. Dans le cadre de cette étude, les impédances caractéristiques sont comprises entre 16 et 39 Ω à 4 GHz pour des largeurs de lignes associées comprises entre 50 et 800 μm avec un substrat $\epsilon_r = 90$ de 635 μm d'épaisseur et une métallisation de 4 μm (Figure 1). Une ligne 50 Ω correspond à une largeur W de 12,56 μm et ne peut donc pas être réalisée. Cependant, les lignes d'accès sont conçues de manière à ramener à leur extrémité une impédance de 50 Ω . Lors de la mesure ou de la mise en boîtier, les connexions devront se faire ponctuellement aux extrémités de ces lignes.

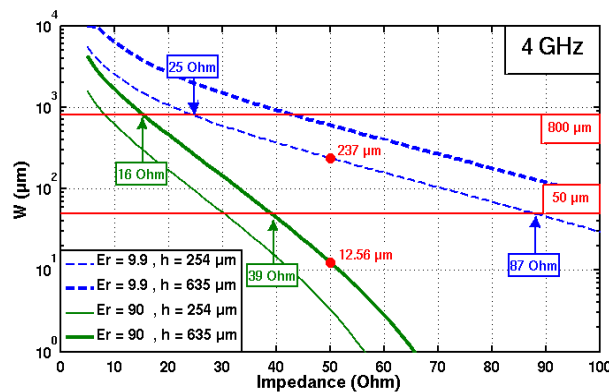


Figure 1. Largeurs de lignes microrubans par la synthèse de Hammerstad et Jensen [2].

2.b. Synthèse du filtre DBR

La topologie DBR (Dual-Behavior Resonator) a été sélectionnée pour ses fortes capacités de réjection afin de répondre à des spécifications électriques drastiques. Le principe d'un DBR [3] repose sur l'association de deux stubs microrubans apportant chacun un zéro de transmission formant ainsi deux structures coupe-bande. La bande passante du filtre est alors obtenue par une recombinaison constructive entre les deux zéros de transmission. Dans cette étude, la fréquence centrale est de 3,83 GHz pour une bande passante relative de 18 % (elle sera fixée finalement à 23 % pour améliorer le flatness). L'architecture du filtre est illustrée sur la figure 2. Les paramètres de la synthèse figurent dans les

tableaux 1 et 2 ($\epsilon_r = 1$) et la réponse électrique du filtre en lignes idéales est présentée dans la figure 3.

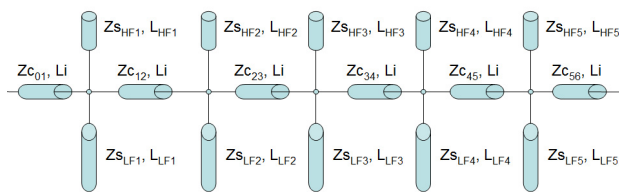


Figure 2. Filtre DBR d'ordre 5

Paramètres généraux	DBR
$f_0 = 3,83 \text{ GHz}$	$k_{LF} = 0,707$ ($F_{Z_{LF}} = 2,71 \text{ GHz}$)
$w = 23 \% (> 18 \%)$	$k_{HF} = 1,436$ ($F_{Z_{HF}} = 5,50 \text{ GHz}$)
$g_a = g_b = 1 \text{ S}$	$b = 13$
$Am = 0,01 \text{ dB}$	

Tableau 1. Paramètres d'entrée de la synthèse DBR

Inverseurs	DBR
$Li = \lambda_0/4 = 19,57 \text{ mm}$	$L_{LF} = L_{N/4} / k_{LF} = 27,66 \text{ mm}$
$Z_{C01} = Z_{C56} = 25,15 \Omega$	$Z_{sLF} = 18,48 \Omega$
$Z_{C12} = Z_{C45} = 16,61 \Omega$	$L_{HF} = L_{N/4} / k_{HF} = 13,63 \text{ mm}$
$Z_{C23} = Z_{C34} = 23,99 \Omega$	$Z_{sHF} = 27,14 \Omega$

Tableau 2. Paramètres de sortie de la synthèse ($\epsilon_r = 1$)

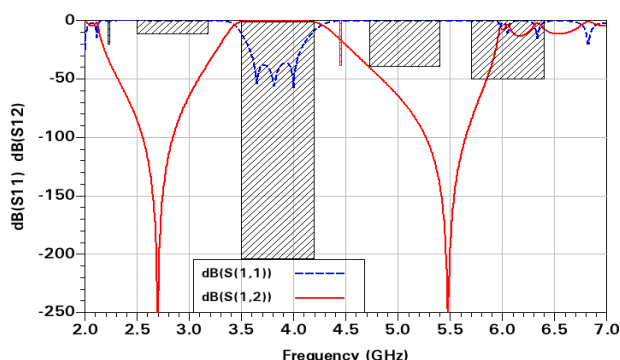


Figure 3. Réponse électrique d'un filtre DBR d'ordre 5 en lignes idéales

Les spécifications électriques imposent une réjection difficile à atteindre : -40 dB à la fréquence harmonique de l'oscillateur local (4,45 GHz). Une telle réjection à proximité de la bande passante peut être obtenue soit par un filtre d'ordre élevé, soit par l'exploitation de couplages croisés [4-5]. Cette dernière option permet de conserver un dispositif aux dimensions intéressantes. Après pliage et réglages par simulations électromagnétiques sous Momentum, les dimensions du filtre sont de 13,51 mm * 6,75 mm = 91,19 mm² (cf. Figure 4).

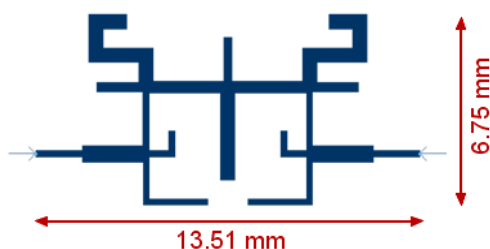


Figure 4. Masque du filtre

2.c. Réalisation et mesure du filtre

Un prototype du filtre a été réalisé sur un substrat NTK ($\epsilon_r = 90$ et $\tan\delta = 0,0009$). Les mesures montrent un bon accord avec les réponses électromagnétiques des simulateurs. On observe un coefficient de réflexion élevé dans la bande passante (-7.6 dB à 4,1 GHz). Ce problème d'adaptation induit une ondulation de 1.27 dB. Les pertes d'insertion à la fréquence centrale sont inférieures à 1.12 dB et la réjection à 2.OL est de 46 dB malgré un décalage de 50 MHz. Ces mesures nous ont permis de calibrer et d'évaluer les simulateurs Momentum et HFSS pour une forte permittivité. En effet, un réglage plus précis de ces simulateurs fournit des résultats très proches de la mesure (cf. figures 5 et 6) ; ici, la remontée de S11 dans la bande est bien visible, ce qui n'était pas le cas avant l'optimisation des paramètres de simulation. Ce premier prototype a donc apporté beaucoup d'informations quant à la validité des méthodes de travail vis-à-vis des matériaux à permittivité élevée.

La suite de l'étude concernera dans un premier temps le filtrage des hautes fréquences par l'introduction de structures passe-bas dans les inverseurs. Ensuite, des solutions de post-réglage sont à envisager afin de palier les éventuels décalages fréquentiels résultant des dispersions technologiques.

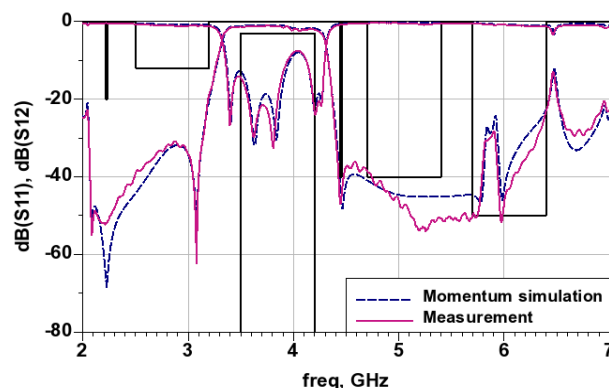


Figure 5. Mesure du prototype et simulation Momentum

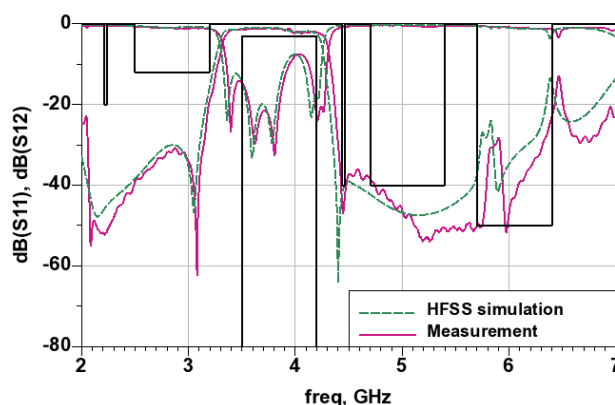


Figure 6. Mesure du prototype et simulation HFSS

3. Conception d'un filtre volumique à « posts » en technologie SIW

Les substrats à forte permittivité peuvent être également employés en technologie volumique. Les filtres à cavité présentent un facteur de qualité élevé mais leurs dimensions et leur poids sont souvent rédhibitoires lors de leur intégration dans un système embarqué. Sur une structure SIW (Substrate Integrated Waveguide), $\epsilon_{\text{eff}} = \epsilon_r$, la réduction de la surface par un substrat $\epsilon_r = 90$ par rapport à une alumine classique ($\epsilon_r = 9,9$) est alors égale à $90/9,9 = 9,09$. En appliquant la synthèse issue du Waveguide Handbook [6], les dimensions du filtre sont de $6,6 \times 28,9$ mm (Figure 7). L'épaisseur du substrat est de $380 \mu\text{m}$, les dimensions des cavités et des vias sont données dans le tableau 3.

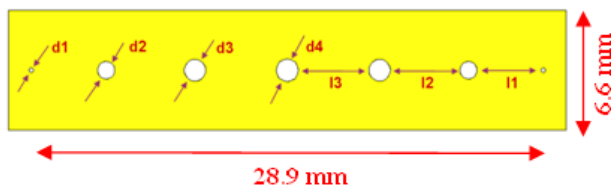


Figure 7. Filtre SIW d'ordre 6

	d1	d2	d3	d4	l1	l2	l3
$\epsilon_r = 9,9$	0,71	2,92	3,65	3,77	12,7	15,1	15,7
$\epsilon_r = 90$	0,24	0,97	1,21	1,25	4,23	5,02	5,22

Tableau 3. Dimensions des cavités et diamètres des vias (en millimètres)

Le diamètre minimal à percer (d1), est inférieur à la hauteur du substrat. Techniquement, ce perçage est trop fin et la métallisation sera de mauvaise qualité. On peut augmenter ce diamètre en décentrant le via [7].

Les simulations sont effectuées sous HFSS. La réponse électromagnétique présentée sur la Figure 8 est celle du filtre SIW obtenu à partir des dimensions physiques de la synthèse (sans réglage).

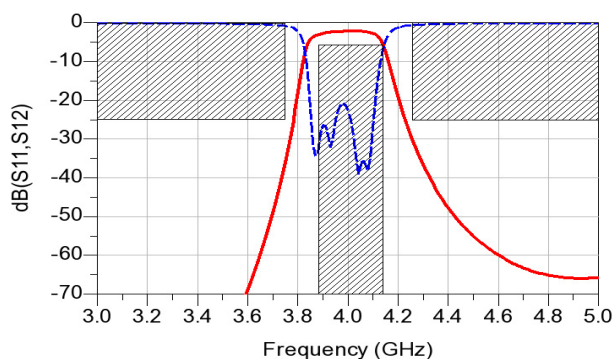


Figure 8. Réponse électromagnétique du filtre SIW

La surface du filtre peut être optimisée par repliement [8]. Les accès du filtre sont réalisés par des lignes microrubans soumises aux mêmes contraintes que pour le filtre DBR. La structure présentée sur la Figure 9 fait $13,5 \times 26,4$ mm = $356,4 \text{ mm}^2$; elle est actuellement en cours d'optimisation.

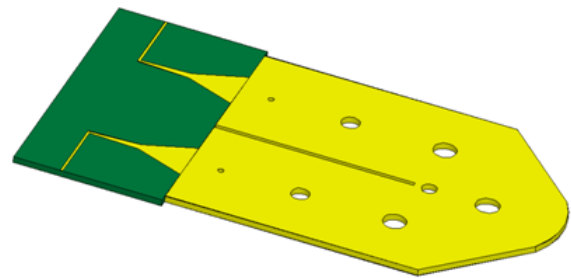


Figure 9. Filtre SIW replié avec accès microruban

4. Conclusion

L'intérêt des matériaux céramiques à forte permittivité a été démontré sur deux technologies différentes. Le gain en surface est considérable tout en répondant aux mêmes exigences que pour les matériaux traditionnels à conditions de prendre en compte les limites technologiques.

5. Bibliographie

- [1] Y.Clavet, A.Manchec, J.F. Favennec, E.Rius, C.Quendo, B. Bonnet, J.C. Azzara, C. Debarge, J.L. Cazaux, « *Miniature UHF-Band Microstrip Filter Based on a High-Permittivity Ceramic Material* », 39th European Microwave Conference, Rome (Italy), pp.563-566, 2009.
- [2] E. Hammerstad and O. Jensen, « *Accurate Models for Microstrip Computer-Aided Design* », IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, International Symposium Digest, Washington D.C., pp. 407-409, May 1980.
- [3] C. Quendo, E. Rius, C. Person, « *Narrow Bandpass Filters Using Dual-Behavior Resonators Based on Stepped-Impedance Stubs and Different-Length Stubs* », IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. 52, n° 3, pp. 1034-1044, 2004.
- [4] J-S. Hong and M. J. Lancaster, « *Couplings of Microstrip Square Open-Loop Resonators for Cross-Coupled Planar Microwave Filters* », IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. 44, n° 12, pp. 2099-2109, December 1996.
- [5] A. Manchec, Y. Clavet, C. Quendo, E. Rius, J. F. Favennec, and C. Person, « *Cross-Coupled Microstrip Dual Behavior Resonator (DBR) Filter* », 36th European Microwave Conference, pp. 556-559, September 2006.
- [6] N. Marcuvitz, Waveguide Handbook, 1986.
- [7] D. Deslandes, « *Single-Substrate Integration Technique of Planar Circuits and Waveguide Filters* », IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. 51, n° 2, 2003, pp. 593-596.
- [8] A. El Mostrah, « *C-Band Cross-Coupled SIW Filter Using a Novel Topology of Electric Coupling* », EuMC Paris 2010, pp. 188-191.